

УДК 621.396

КОНТРОЛЬ ТРАЕКТОРИИ ГЕОСТАЦИОНАРНОГО СПУТНИКА СВЯЗИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ШИРОКОЗОННОЙ СЕТИ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ НАВИГАЦИИ

к.т.н. А.А. Жалило, к.т.н. В.Т. Бедный, С.Н. Флерко
(представил д.т.н. проф. А.И. Погорелов)

В работе предлагается способ контроля траектории геостационарных спутников связи при использовании последнего в качестве дополнительной навигационной точки. Приведены результаты оценки точности определения параметров траектории геостационарных спутников связи и влияния погрешностей их определения на результирующую точность навигационных определений АП

Одним из перспективных путей повышения точности и надежности навигационных определений (НО) по сигналам космических навигационных систем (КНС) NAVSTAR и ГЛОНАСС является применение дифференциальных методов, в частности, широкозонного дифференциального метода (ШДМ) с задействованием геостационарных спутников связи (ГСС) Inmarsat - 3 в качестве дополнительных навигационных точек и источников дифференциальной корректирующей информации (ДКИ). Обширные работы над реализацией последнего решения ведутся в США (программа WAAS) и в Западной Европе (программа EGNOS) в рамках создания глобальной навигационной спутниковой системы GNSS-1 [1].

Наземный сегмент системы НО, предполагаемый для реализации ШДМ, составляет сеть распределенных станций мониторинга навигационного поля КНС или контрольно - корректирующих станций (ККС), объединенных единым Центром контроля навигационного поля (ЦКНП). ЦКНП оснащается высокостабильным стандартом времени и частоты, который будет обеспечивать синхронизацию всей сети с использованием результатов измерений навигационных параметров (НП). Сбор и обработка измерительной информации сети ККС в ЦКНП позволяют сформировать ДКИ в составе сигналов целостности КНС и дифференциальных поправок к НП потребителя. Перспективным считается способ доставки ДКИ потребителю через ГСС. При этом, программы WAAS и EGNOS предполагают использовать ГСС Inmarsat - 3 в качестве допол-

© к.т.н. А.А. Жалило, к.т.н. В.Т. Бедный, С.Н. Флерко, 1998

нительной навигационной точки с излучением навигационного сигнала (НС), подобного сигналам КНС.

Космическая программа Украины предусматривает возможность выведения национального ГСС «Либідь», что открывает широкие возможности его использования в системе НО Украины по аналогии с программами WAAS и EGNOS при условии дооборудования бортовой аппаратуры ГСС ретранслятором НС. Передачу ДКИ, в этом случае, можно организовать как через ретранслятор, так и непосредственно через один из каналов связи ГСС.

При использовании ГСС в качестве дополнительной навигационной точки возникает задача высокоточного эфемеридного обеспечения последнего. Авторами предлагается способ организации траекторных измерений ГСС непосредственно с помощью сети ККС в рамках системы НО Украины.

Предполагается, что широкозонная сеть ККС системы НО будет осуществлять высокоточные измерения фазы несущих НС спутников КНС наряду с кодовыми измерениями НП. Реализация обработки фазовых измерений в реальном масштабе времени (проблема разрешения фазовых неоднозначностей на измерительных базисах 1000 км и более) представляет собой достаточно сложную, но реализуемую задачу. Например, такой процесс фазовых измерений организован в глобальной международной сети слежения за спутниками КНС NAVSTAR - CIGNET [2], станции слежения которой распределены по всему миру.

В процессе формирования ДКИ на ЦКНП по измерениям сети будет решаться целый ряд задач, связанных, прежде всего, с компенсацией воздействия атмосферных эффектов на распространение радиосигналов. В частности, предполагается формировать параметры улучшенных региональных моделей ионосферы (с помощью двухчастотных измерений ККС) и региональной модели тропосферы.

Установка на борту ГСС ретранслятора НС, формируемого на ЦКНП, позволяет организовать канал измерения дальности и скорости на трассе «ЦКНП-ГСС», а на трассах «ГСС-ККС» - каналы измерения псевдодальности и псевдоскорости, поскольку в системе НО расхождения шкал времени и частоты (ШВЧ) ККС относительно ЦКНП предполагаются неизвестными и подлежащими оценке. Таким образом, задача сводится к оценке точности определения координат, составляющих вектора скорости ГСС и расхождений ШВЧ между ККС и ЦКНП по результатам кодовых и фазовых измерений параметров НС, излучаемых ГСС и КНС.

В общем виде систему уравнений, описывающих процесс измерений НП системой НО можно представить в виде

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta S_{i1\Phi}(t) = R_i(t) - R_1(t) + \nabla_{i1}(t) + \delta\Delta S_{i1\Phi}(t); \\ S_{1\kappa}(t) = R_1(t) + \delta S_{1\kappa}(t); \\ S_{i\kappa}(t) = R_i(t) + \nabla_{i1}(t) + \delta S_{i\kappa}(t); \\ \dot{S}_{1\Phi}(t) = \dot{R}(t) + \delta\dot{S}_{1\Phi}(t); \\ \dot{S}_{i\Phi}(t) = \dot{R}_i(t) + \dot{\nabla}_{i1}(t) + \delta\dot{S}_{i\Phi}(t), \end{array} \right.$$

где $\Delta S_{i1\Phi}(t)$ - разности фазовых псевдодальностей между i - й ККС и ЦКНП относительно ГСС;

$S_{i\kappa}(t)$ - кодовые измерения псевдодальности i - й ККС сети относительно ГСС;

$\dot{S}_{i\Phi}(t)$ - измерения псевдоскорости i - й ККС (включая ЦКНП);

$R_i(t), \dot{R}_i(t)$ - геометрическая дальность i - й ККС (включая ЦКНП) относительно геостационарных спутников связи и радиальная скорость ГСС соответственно;

$\nabla_{i1}(t), \dot{\nabla}_{i1}(t)$ - расхождения шкал времени и частоты i - й ККС и ЦКНП и скорости их ухода соответственно;

$\delta\Delta S_{i1\Phi}(t)$, $\delta S_{i\kappa}(t)$ и $\delta\dot{S}_{i\Phi}(t)$ - остаточные погрешности разностей фазовых измерений псевдодальностей, измерений кодовых псевдодальностей и измерений псевдоскоростей соответственно, возникающие в результате неполной компенсации воздействия атмосферных эффектов, эффектов многолучевости распространения НС, а также из-за шумовых составляющих.

Аналогичным образом могут быть записаны уравнения для трасс «спутники КНС-ККС (ЦКНП)», в которых, однако, должны быть учтены уходы ШВЧ спутников КНС, включая воздействие режима селективного доступа КНС NAVSTAR.

Предполагается точечная оценка искомых параметров на фиксированный момент времени. В вектор оцениваемых параметров включаются координаты и составляющие вектора скорости спутников КНС и ГСС,

уходы ШВЧ спутников КНС, а также расхождения ШВЧ ККС относительно ЦКНП.

Для предлагаемого способа организации измерений была проведена оценка точности определения искомых параметров на интервале времени суток с дискретностью 15 минут при использовании реальных альманахов КНС NAVSTAR и ГЛОНАСС. При проведении расчетов было принято, что среднеквадратические ошибки (1σ) текущих измерений сети ККС не превышают значений 0,7 см, 0,5 м и 0,2 см/с по разности фазовых измерений псевдодальностей, кодовым измерениям псевдодальностей и измерениям псевдоскоростей соответственно. Рассматривалось три варианта конфигурации сети контрольно - корректирующих станций с базисными расстояниями порядка 1000 км, 2500 км и 4000 км.

Результаты оценки точности определения координат и составляющих вектора скорости (СВС) ГСС для всех трех вариантов построения сети ККС представлены в табл. 1. Пересчет представленных в табл. 1 оценок погрешностей определения параметров траектории ГСС в оценки погрешности измерения псевдодальности и псевдоскорости потребителя (проекция эллипсоида ошибок координат и СВС ГСС на направление «ГСС - потребитель») приводит к результатам, представленным в табл. 2.

Таблица 1 - Среднеквадратическая ошибка (СКО) определения параметров траектории ГСС

| Вариант конфигурации сети ККС* | СКО (1σ) определения координат, м | СКО (1σ) определения СВС, м/с |
|--------------------------------|--|--|
| I | 0,5 - 2,4 | 0,27 - 1,34 |
| II | 0,2 - 0,6 | 0,08 - 0,33 |
| III | 0,08 - 0,15 | 0,02 - 0,12 |

- * - I: базисные расстояния между ККС и ЦКНП порядка 1000 км;
 II: базисные расстояния между ККС и ЦКНП порядка 2500 км;
 III: базисные расстояния между ККС и ЦКНП порядка 4000 км.

Аналогичные результаты получены и для спутников КНС, где оцениваются не только траекторные параметры, но и уходы бортовых шкал времени и частоты (включая воздействие режима селективного доступа КНС NAVSTAR).

**Таблица 2 - СКО измерений псевдодальности и псевдоскорости
потребителем при использовании рассчитанных параметров
траектории ГСС**

| Вариант конфигурации сети ККС* | СКО (1σ) измерения псевдодальности**, м | СКО (1σ) измерения псевдоскорости, см/с |
|--------------------------------|--|--|
| I | 0,15 | 0,5 - 1,3 |
| II | 0,15 | 0,2 - 0,4 |
| III | 0,15 | 0,07 - 0,09 |

*- соответствует таблице 1;

** - потребитель размещался на территории Украины в точках с диапазоном изменения координат по широте $44^0 - 53^0$ с.ш. и по долготе $22^0 - 40^0$ в.д.

Полученные результаты свидетельствуют о значительных возможностях широкозонной дифференциальной сети ККС в повышении точности НО и возможностях реализации высокоточных измерений параметров траектории ГСС даже с территории Украины, при условии организации в сети фазовых измерений НП.

Авторы выражают благодарность ведущему инженеру - программисту Садановой Н.В. за выполнение расчетов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Киналь Ю., Разумовский О. Доклад о навигационной деятельности в компании Inmarsat. - Сборник трудов Международной конференции «Планирование глобальной радионавигации», том 1, 1997.- 91 с.
2. Гофманн - Велленгоф Б., Коллинз Д. и др. Глобальна система визначення місцеположення: теорія і практика. - Київ: Наукова думка, 1996. - 93 с.